

## 水草の繁茂が湖沼・ため池の水質に及ぼす影響

## Effects of Aquatic Plant Growth on Water Quality in Ponds and Lakes

原田 茂 樹\*  
(HARADA Shigeki)佐藤 清 也\*\*  
(SATO Seiya)越川 海\*\*\*  
(KOSHIKAWA Hiroshi)

## I. はじめに

COD (化学的酸素消費量) は代表的な有機汚濁指標であり、湖沼の環境基準であるが、その達成率は低く横ばい傾向である<sup>1)</sup>。したがって、湖沼の有機物濃度の変動要因や影響因子を明らかにすることは重要である。影響因子の一つとして、水草の繁茂の影響が挙げられる。国土交通省の「湖沼における水理・水質管理の技術」<sup>2)</sup>の中では、「水草管理は、水草(植物体)を刈り取り、水草に含まれる有機物を系外に持ち出す手法である。これにより、枯死した植物体を湖内に堆積させることなく、枯死植物からの溶出を回避することが可能となる」と書かれており、水草の刈上げ・除去を湖沼の水質管理の1手法に位置づけている。

現実に、わが国の主要湖沼の中で、水草の繁茂が水質管理上の問題となっている例は多い。琵琶湖南湖辺部では、水草の異常繁茂により湖流の滞留や水草の枯死体による湖沼の泥質化の促進などが水質に影響を与えることが懸念され、表層刈取りと根こそぎ除去を行っている<sup>3)</sup>。諏訪湖では、アオコの問題解決が沈水植物の増加を、そしてヒシなど浮葉植物の増加をもたらしたことが示されており<sup>4)</sup>、ヒシの除去活動が行われている。東北を代表する猪苗代湖においては、酸性湖沼から中性化にともなう富栄養化の問題が懸念されていたが、北部の浅水帯にヒシが繁茂し、漂流水草の打上げや有機物濃度の上昇がみられ、除去活動が行われている<sup>5)</sup>。

水草には抽水植物、沈水植物、浮葉植物などがあり、諏訪湖の例のように、浮葉植物が繁茂する状況に至るにも、富栄養化や底質の有機質化などの問題が絡み合っている。また一般に水草による水質浄化効果があることも言われているが、本報では、水草の中で浮葉植物の一種類であるヒシの繁茂が有機物濃度の変動に与える影響に中心をおいて考察する。ヒシの繁茂に注目する理由として、次の3つが挙げられる。

- ① ヒシなどの浮葉植物はその繁茂・衰退(枯死)が観察しやすく、降雨や水温などの環境因子の影響を考慮しながら、繁茂・衰退の状況とともに水質項目の変動を調査・解析できる。
- ② 上述のように東北の主要湖沼である猪苗代湖においてヒシの繁茂が観察されており、気象条件が類似する宮城県内での調査結果を得るに意義があると考えられる。
- ③ 宮城大学周辺の旗立緑地内「中ため池」におけるヒシの繁茂・衰退と水質変化を調査した、筆者らによる既報<sup>6)</sup>があり、比較検討を行うことに意義があると考えられる。

本報で調査対象とする瓢箪沼(通称)は、宮城県仙台市宮城野区鶴ヶ谷六丁目17番2に所在するため池である(面積35,466 m<sup>2</sup>)。中ため池や猪苗代湖と同様に、ヒシが水面を覆う。瓢箪型の形状で南側と北側に池を分けることができるが水塊は1つであり、上流と下流の関係にある。規模や水塊構造の複雑さが猪苗代湖(2つの水塊に分かれる)と中ため池(流入が1カ所で流出がない水塊が1つの池)<sup>6)</sup>の中間に位置づけられる。また、ヒシは瓢箪沼の南側から北側にわたる全面を5月から9月にかけて覆う。これらのことから、主にヒシの消長を原因とした水質変動の解析に適していると考えられる。

瓢箪沼は周辺地域から見てすり鉢状斜面の底に位置し、周囲から雨水が流入しやすい地形である。4本の雨水流入管のほかに1カ所の湧水がある。また北側の端に流出口がある。ため池であるので、水が貯えられた後、ある水位から越流する構造となっている。

以下では、2017年5月から2018年3月まで(池表面が凍結した2018年1、2月を除く)の約1年にわたる、瓢箪沼の南側、北側の表層1カ所ずつでのCODとTOC(全有機炭素)、栄養塩、色素(7月から)などについての観察結果から、ヒシの繁茂・衰退が水質に与える影響、ヒシの管理方法について考察した結果に

\*宮城大学食産業学部環境システム学科

\*\*内外エンジニアリング(株)

\*\*\*国立環境研究所地域環境研究センター

COD, TOC, 水草, ヒシ, 色素

ついて述べる。

## II. 瓢箪沼における現地調査

瓢箪沼の北側と南側の定点1カ所ずつで、2017年5月7日から2018年3月7日まで毎月2回の現場観察と表層水採取を行った。現場でパケットテスト(COD, pHなど)、透視度(8月11日は欠測)、水温を測定した。研究室にただちに試水を移送した。CODは、試水を過マンガン酸カリウムとともにDRB-200(Hach)により100℃、30分熱分解し吸光光度計DR-5000(Hach)により定量した<sup>5)</sup>。TOC(NPOC:不揮発性有機炭素)とT-N(全窒素)はTOC-V(島津製作所)により定量した。懸濁物(浮遊生態系とヒシ草体破砕物は区分していない)のクロロフィルaとそれが分解されたフェオ色素はガラス繊維ろ紙(ADVANTEC GF75, 47φ, 孔径0.3μm)上に懸濁物を捕集し、ジメチルホルムアミド(10mℓ)で抽出後、蛍光光度計10-AU(Turner Designs)により定量した<sup>7)</sup>。

## III. 結果

### 1. 水面ヒシの消長と降雨

水面でのヒシの存在は5月7日に、衰退は10月12日に確認された。降雨量は5月以降増大し、特に7月に集中した。ヒシ消滅後の10月19~23日の間に230mmの雨が記録された(図-1)。1,2月はため池水面が凍結した(図-1)。

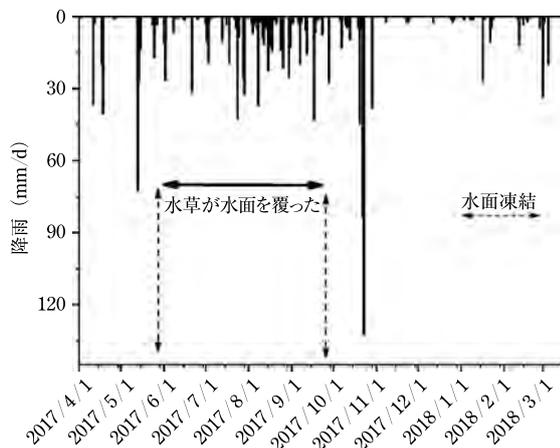


図-1 降雨状況とため池表面の状態

### 2. 透視度

透視度は6月末までは低く、7月に急上昇し、南側、北側ともに>50cmとなった(図-2)。ヒシの繁茂により、粒子状物質が沈降したためと考えられる(図-2)。10月初旬にヒシが衰退した直後、透視度は急降下した(図-2)。このとき、表層水は顕著に着色されていた。

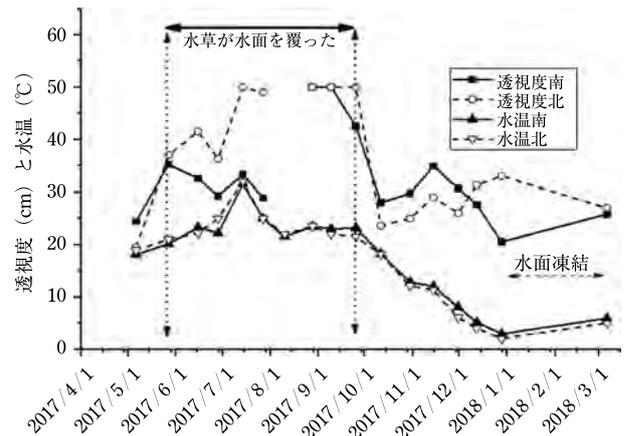


図-2 南側と北側の透視度と水温

### 3. 色素

ヒシが衰退した直後、クロロフィルa、フェオ色素ともに急上昇した(図-3)。上述した表層水の着色とも同時である。ヒシの衰退による表層水の着色は既報<sup>6)</sup>でも報告されており、ヒシ草体の分解が原因と示唆される。クロロフィルaのみならずフェオ色素の濃度も急増しており、ヒシ体が分解された後、破砕物として水中にとどまっていたもののさらなる分解を表していると考えられる。その後、色素はすぐに低減したが、クロロフィルaのみ再び増加を開始した。表層水の凍結が終わった後の採水時には、クロロフィルaは大きく低減したが、ヒシ繁茂期の7月初めの値よりも高かった(図-3)。

### 4. 有機物濃度とその他の水質項目

有機物濃度には3回の大きな変化がみられた(図-3):1度目(5月28日に低下し、6月29日に増加)、2度目(6月29日から8月29日まで低下し10月12日まで増加)、3度目(その後10月31日まで低下、そしてCODのみ12月29日まで増加)である。CODとTOCの変動形態は11月いっぱいまで南側と北側でほぼ一致しており、COD/TOC比はほぼ2であった。12月以降はCODのみ上昇し、COD/TOC比は上昇した。T-Nと全リン(T-P)はグラフには示さないが、CODやTOCと同様、ヒシの衰退時に濃度が大きく増加していた。

## IV. 考察

3度の有機物濃度の大きな上昇は、直前の有機物濃度が低減した後に起こっている。雨水流入による希釈がその低減の理由になりうるかを解析した。3度の低減の期間(期間A:5月7~28日, 期間B:6月29日~8月29日, 期間C:10月12~31日)の流入雨水量を推定し、瓢箪沼の容積(約70,932m<sup>3</sup>, 水深2mと

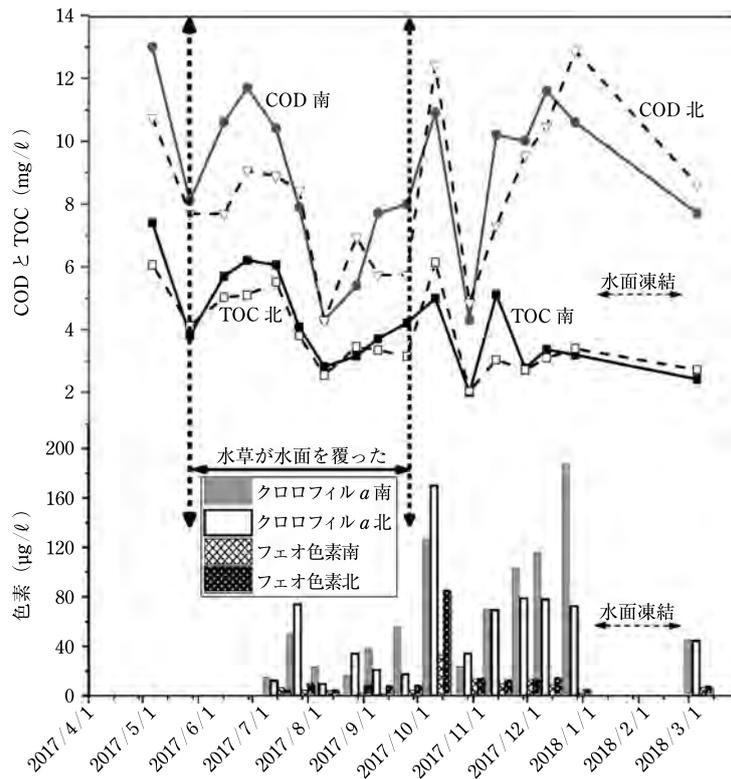


図-3 有機物と色素の変化

表-1 有機物濃度低減期の雨水流入量と容積比

期間	降雨量 (mm)	雨水量 (m <sup>3</sup> )	容積比
A	0.113	86,761.3	1.22
B	0.249	191,181.9	2.70
C	0.270	207,305.6	2.92

仮定) に対する比を求めた (表-1)。瓢箪沼の集水域面積は GoogleMap より 153.6 km<sup>2</sup> と読み取り, 流出係数は仙台市の基準より 0.5 とした。ここで, 流入雨水に含まれる COD と TOC 濃度は考慮していない。

表-1 は, 3つの期間に瓢箪沼に流入した雨水量は瓢箪沼容積の 1.2~2.9 倍に相当し, 瓢箪沼の有機物濃度を 2~4 倍程度希釈しうることを示している。ここで, 2度目の有機物濃度の上昇は, ヒシの衰退直後の大きなものである。10月12日にはヒシが水面から消滅していたので, その前のサンプリングの9月26日からの16日間の変化より, 平均の日当たり変化を求めると, COD 南: 0.18 mg/(ℓ・d), COD 北: 0.45 mg/(ℓ・d), TOC 南: 0.05 mg/(ℓ・d), TOC 北: 0.20 mg/(ℓ・d) となる。北の方が下流のため, 移送される分を含み大きくなっていると考えられる。中ため池でのヒシ衰退時の TOC の増加は 0.12 mg/(ℓ・d) であり<sup>6)</sup>, TOC 南と TOC 北の平均値である 0.13 mg/(ℓ・d) と近い。10月12日にはクロロフィル a, フェオ色素が大きく上昇しており, ヒシは速やかに水中の草体破

碎物の形に変換したと考えると現象が説明できる。フェオ色素の増加が同時に起こっていることから草体の分解が進んだと考えられ, 有機物濃度上昇の原因はヒシの衰退後の分解・溶解と考えられる (クロロフィル a, フェオ色素とも中間生成物であるが, その現存量が増えていることは, そこまでの反応が進んだことを示している)。

一方, 低減の後に有機物濃度が上昇している理由としては, 降雨終了後に速やかに水塊が混合されるとともに, 浮遊生態系からの有機物供給があるものと考えている。観測期間中のクロロフィル a の平均値は南で 65.3, 北で 55.8 µg/ℓ であり, 富栄養状態と言える。16の水域における植物プランクトンによる光合成速度, 光合成由来 DOC (溶存有機炭素) 生成割合をレビューした Baines & Pace<sup>8)</sup> より, 湖沼の結果のみを抽出し平均すると, 前者は 0.11~0.75 mgC/(ℓ・d), 後者は約 20% となる。捕食由来 DOC 生産量を光合成速度の約 10% とする<sup>6)</sup> と, 併せて光合成速度の約 30%, おおむね 0.03~0.22 mgC/(ℓ・d) の DOC 生成速度となり, 上述のヒシ衰退期の TOC 生産速度に近い。本報で考慮していない浮遊生態系の寄与が無視できない可能性があり, 色素計測時に浮遊生態系と水草の草体破砕物を分離することが今後の課題である。

中ため池では瓢箪沼と同様に水草の衰退とともに大きな COD と TOC の増加がみられたが, その後すぐ

に低減した<sup>6)</sup>。原因としては池内の混合の違いが考えられる。中ため池ではヒシ衰退直後に水面の着色は消えている<sup>6)</sup>。それに対し、瓢箪沼では一度下がった透視度が再上昇しなかった(図-2)。中ため池では衰退したヒシの草体は速く沈降し、一方、瓢箪沼では水面からヒシが消えた後しばらく草体は水中にとどまり分解・溶解により水中の有機物濃度を高めた可能性がある。2018年3月7日のクロロフィル *a* はヒシ繁茂期と比べてもやや高い(図-3)。中ため池での観察に対し、瓢箪沼では水平移流を含めた観察ができ、より長期間にわたる有機物濃度の変化を追跡できている。上述のように、ヒシが衰退した後、長期にわたり有機物濃度を高める可能性があり、その対策としてヒシを水中から除去するならば、最も効果的な時期は衰退前に当たる9月上旬から中旬であると考えられる。瓢箪沼ではヒシの衰退から5カ月程度が経過した3月初旬には、有機物濃度は衰退直前の10月の濃度にほぼ戻っていた。この点からヒシの繁茂・衰退は湖沼の有機物濃度を漸増させるか否かについて結論するには、さらなる検討が必要である。沈降後の草体(上述)など、底質で有機物蓄積が進んでいる可能性があるからである。濃度低下要因として雨の影響は考慮したがさらに細菌による無機化を加える必要がある。

**謝辞** 本研究は宮城大学研究費により実施された。

#### 引用文献

- 1) 環境省：平成29年版 環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書, p.225 (2017)
- 2) 国土交通省：湖沼における水理・水質管理の技術, [http://www.mlit.go.jp/river/shishin\\_guideline/kankyo/kankyou/kosyo/tec/index.html](http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kankyo/kankyou/kosyo/tec/index.html)
- 3) 滋賀県琵琶湖環境部：第6期琵琶湖に係る湖沼水質保全計画の評価および第7期計画に向けた課題, p.25 (2016)
- 4) 花里孝幸：諏訪湖生態系の長期変遷と、近年の水草問題, [http://www.pref.shiga.lg.jp/d/biwako-kankyo/lberi/03yomu/03-01kankoubutsu/kogan-kenkyukai/files/9-](http://www.pref.shiga.lg.jp/d/biwako-kankyo/lberi/03yomu/03-01kankoubutsu/kogan-kenkyukai/files/9-hanazato.pdf)

hanazato.pdf

- 5) 中村玄生：猪苗代湖、水質日本一復活を目指して一現状と取り組み一、平成29年度日本水環境学会東北支部セミナー (2017)
- 6) Harada, S., Wagatsuma, R., Koseki, T., Aoki, T. and Hashimoto, T. : Water quality criteria for water bodies in urban areas and accompanying changes in surrounding and in-situ vegetation: considerations from the landscape aspect of planning water recreational area, *J. Wat. Res. Protection* 5(2), pp.156~163 (2013)
- 7) Suzuki, R. and Ishimaru, T. : An improved method for the determination of phytoplankton chlorophyll using N, N-dimethylformamide, *J. Oceanogr. Soc. Japan* 46(4), pp.190~194 (1990)
- 8) Baines, S. and Pace, L. : The production of dissolved organic matter by phytoplankton and its importance to bacteria: Patterns across marine and freshwater systems, *Limnol. Oceanogr* 36(6), pp.1078~1090 (1991)

[2018.6.25.受理]

#### 原田 茂樹 (正会員)



**略 歴**  
1963年 広島県に生まれる  
1991年 東京大学大学院博士課程修了  
国立環境研究所  
2005年 宮城大学食産業学部講師  
2014年 同教授  
現在に至る

#### 佐藤 清也 (正会員・CPD 個人登録者)



1996年 宮城県に生まれる  
2018年 宮城大学食産業学部環境システム学科卒業  
内外エンジニアリング(株)  
現在に至る

#### 越川 海



1968年 北海道に生まれる  
1997年 東京理科大学大学院博士課程修了  
国立環境研究所  
2014年 同地域環境研究センター海洋環境研究室長  
現在に至る